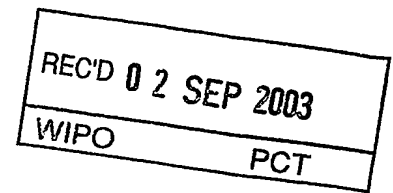


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 35 503.7

Anmeldetag: 02. August 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE

Bezeichnung: Maschine mit einer in einem Wicklungsträger
angeordneten kühlbaren Wicklung sowie mit
einer Drehmoment übertragenden Einrichtung

IPC: H 02 K 5/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. Februar 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Waasmaier

Beschreibung

Maschine mit einer in einem Wicklungsträger angeordneten kühlbaren Wicklung sowie mit einer Drehmoment übertragenden

5 Einrichtung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Maschine mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor, der ein Rotoraußengehäuse hat, das an Rotorwellenteilen befestigt ist und
10 einen Wicklungsträger mit einer kühlbaren, insbesondere supraleitenden Wicklung umschließt. Der Rotor weist ferner Mittel zur Halterung des Wicklungsträgers innerhalb des Rotoraußengehäuses auf, die zumindest an einer Stirnseite eine Drehmoment übertragende Einrichtung zwischen dem Wicklungsträger
15 und dem zugeordneten Rotorwellenteil mit mindestens einem rotationssymmetrischen Verbundkörper aus einem mit Fasermaterial verstärkten Kunststoff umfassen. Eine entsprechende Maschine geht aus der US 5,880,547 A hervor.

20 Besondere Typen von elektrischen Maschinen, insbesondere Generatoren oder Motoren, besitzen eine rotierende Feldwicklung und eine feststehende Ständerwicklung. Durch Verwendung von tiefgeköhlten und insbesondere supraleitenden Leitern kann man dabei die Stromdichte und dadurch die spezifische Leistung der Maschine, d.h. die Leistung pro Kilogramm Eigengewicht, erhöhen und auch den Wirkungsgrad der Maschine steigern.
25

Tiefkalte Wicklungen elektrischer Maschinen müssen im Allgemeinen von der Umgebung thermisch isoliert und mit einem Kühlmittel auf der geforderten Tieftemperatur gehalten werden. Eine effektive Wärmeisolation kann dabei nur erreicht werden, wenn die tiefkalten Teile der Maschine von dem warmen Außenraum möglichst durch ein Vakuum mit einem Restgasdruck
30 im Allgemeinen unter 10^{-3} mbar getrennt sind und wenn Verbindungsteile zwischen diesen tiefkalten Teilen und dem warmen Außenraum möglichst wenig Wärme übertragen.
35

Für eine Vakuumisolation von Rotoren mit tiefzukühlenden Läuferwicklungen und warmen Ständerwicklungen sind insbesondere zwei Varianten bekannt:

5 Bei einer ersten Ausführungsform hat der Rotor ein warmes Außengehäuse und einen mitrotierenden, abgeschlossenen Vakuumraum. Der Vakuumraum sollte dabei den tiefkalten Bereich allseitig umgeben (vgl. z.B. „Siemens Forsch. u. Entwickl.-Ber.“, Bd. 5, 1976, No. 1, Seiten 10 bis 16).
10 Über sich durch den Vakuumraum erstreckende Abstützungen erfolgt jedoch eine unerwünschte Übertragung von Wärme auf die tiefkalten Teile.

Bei einer zweiten Ausführungsform rotiert der im Wesentlichen kalte Rotor in einem Hochvakuum. Dabei wird die
15 äußere Begrenzung des Hochvakuumraumes durch die Innenbohrung des Ständers festgelegt. Eine solche Anordnung erfordert jedoch hochvakuumdichte Wellendichtungen zwischen dem Rotor und dem Ständer (vgl. z.B. DE 27 53 461 A).

20

Bei der aus der genannten US-A-Schrift entnehmbaren Maschine ist die erstgenannte Variante realisiert. Demnach befindet sich bei ihrem Rotor eine supraleitende Wicklung im Inneren eines Läuferkryostaten, der mit angebrachten Flanschwellen
25 ein Außengehäuse des Rotors bildet. Für die Supraleiter der Wicklung ist eine Heliumkühlung vorgesehen. Demgegenüber befindet sich die Außenkontur des Rotoraußengehäuses etwa auf Raumtemperatur und im Betrieb auch gegebenenfalls darüber.

Das Nutzdrehmoment der Maschine wird in der Rotorwicklung erzeugt. Diese ist in einem kalten Wicklungsträger angeordnet,
30 der seinerseits isoliert in dem als Kryostaten wirkenden Rotoraußengehäuse aufgehängt bzw. gehalten ist. Dabei muss diese Aufhängung bzw. Halterung auf der Antriebsseite des Rotors, die häufig auch als A-Seite der Maschine bezeichnet
35 wird, stabil genug sein, um das Drehmoment von dem kalten Wicklungsträger auf einen antriebsseitigen, wärmeren Wellenteil zu übertragen. Eine entsprechende, starre Verbindungs-

einrichtung zur Drehmomentübertragung muss daher verhältnismäßig massiv dimensioniert und kraftschlüssig mit dem Wicklungsträger und dem antriebsseitigen Wellenteil verbunden sein. Dadurch bedingt kommt es zu einer unvermeidlichen Wärmeeinleitung in den kalten Bereich des Rotors. Häufig sieht man sich deshalb zu einer Kühlung der Drehmoment übertragenden Verbindungseinrichtung veranlasst (vgl. z.B. „Handbook of Applied Superconductivity“, Vol. 2: Ed.: B. Seeber, Institute of Physics Publishing, Bristol (GB), 1998, Seiten 1497 bis 1499 und 1522 bis 1530). Zugleich übernimmt diese Verbindungseinrichtung auch die antriebsseitige Zentrierung des kalten Wicklungsträgers. Auf der gegenüberliegenden Rotorseite, die auch als Nichtantriebs- oder allgemein auch als B-Seite bezeichnet wird, an der für einen Betrieb der Maschine wichtige Verbindungen wie z.B. eine Kühlmittelzufuhr vorgesehen sind, wird praktisch kein Drehmoment ausgeleitet. Daher ist hier im Wesentlichen nur die Funktion einer Zentrierung und thermischen Isolierung zu erfüllen. Darüber hinaus werden dort im Allgemeinen Maßnahmen zu einem Ausgleich der Schrumpfung des abgekühlten Wicklungsträgers eingeplant.

Zur Verminderung der Wärmeeinleitung in den gekühlten Supraleitungsbereich des Rotors ist bei einer speziellen Ausführungsform der aus der genannten US-A-Schrift zu entnehmbaren Maschine vorgesehen, dass zumindest auf der Antriebsseite die Drehmoment übertragende Verbindungseinrichtung einen hohlzylindrischen Verbundkörper aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff aufweist. Dieser Hohlzylinder ist an seinen beiden axialen Seiten jeweils mit einem Befestigungsteil aus Stahl versehen, der mit dem Wicklungsträger bzw. der Antriebswelle kraftschlüssig verbunden ist. Die mechanische Verbindung zwischen dem Hohlzylinder aus Kunststoff und den Befestigungsteilen aus Stahl muss eine hohe Überlastfestigkeit und Dauerfestigkeit bei wechselnden Beanspruchungen gewährleisten, da beispielsweise beim Anlaufen oder bei verschiedenen Störfällen an solchen Motoren deutlich höhere Momente als im normalen Betriebsfall auftreten, die nicht zu einer Schädigung der

Drehmoment übertragenden Einrichtung führen dürfen. Diesbezügliche Einzelheiten sind jedoch der US-A-Schrift nicht zu entnehmen.

5 Solche Einzelheiten sind in der US 6,129,477 A angesprochen. Hier wird eine Drehmomentübertragung über eine Verbindungseinrichtung zwischen verschiedenen Teilen dieser Einrichtung aus Materialien mit unterschiedlichen Schermodulen an einer konisch verlaufenden Fläche ausgenutzt, wobei eine Verklebung
10 dieser Teile an dieser Fläche vorgesehen ist. Ein erster Teil der Verbindungseinrichtung besteht dabei aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff, während ein zweiter aus Metall gefertigt ist. Auch hier hängt die Funktionsfähigkeit der Drehmomentübertragung im wesentlichen Maße von der Dauerhaftigkeit
15 der Verklebung zwischen diesen Teilen ab.

Neben den seit langem bekannten metallischen Supraleitermaterialien wie z.B. NbTi oder Nb₃Sn, wie sie bei den vorstehend erwähnten Maschinen eingesetzt werden, sind seit 1987 auch
20 metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen von über 77 K bekannt. Mit Leitern unter Verwendung solcher Hoch(High)-T_c-Supraleitermaterialien, die auch als HTS-Materialien bezeichnet werden, versucht man, supraleitende Wicklungen von Maschinen zu erstellen (vgl. z.B.
25 WO 98/02953 A). Auch Maschinen von diesem Leitertyp erfordern auf Grund der Temperaturunterschiede zwischen der Betriebstemperatur des Supraleitermaterials und der Außentemperatur des wärmeren Rotoraußengehäuses Maßnahmen zur Verminderung der Temperatureinleitung in den Supraleitungsbereich.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Maschine mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, dass ihre Verbindungseinrichtung zur Drehmomentübertragung auf verhältnismäßig einfache Weise eine kraftschlüssige, eine
35 hohe Dauer- und Überlastfestigkeit gewährleistende Verbindung zwischen dem kalten Wicklungsträger und dem zugeordneten war-

men Rotorwellenteil ermöglicht und dabei Wärmeeinleitungsverluste zum kalten Wicklungsträger begrenzt.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dementsprechend soll bei der Maschine mit den eingangs genannten Merkmalen der Verbundkörper der Drehmoment übertragenden Einrichtung einstückig Seitenteile und einen dazwischen liegenden Mittelteil enthalten, wobei die Seitenteile zumindest in einem Teilabschnitt sich trichterförmig nach außen hin erweiternd und der Mittelteil hohlzylinderförmig ausgebildet sind und wobei die Seitenteile zumindest in einem Teilabschnitt in Umfangsrichtung gesehen eine Wellenform aufweisen, während der Mittelteil zumindest weitgehend ungewellt ist. Dabei soll der Verbundkörper an
10 seinen Seitenteilen mit flanschartigen Befestigungsteilen aus Metall form- und kraftschlüssig verbunden sein, indem wenigstens jeder Seitenteil des Verbundkörpers mittels eines mit dem jeweiligen Befestigungsteil kraftschlüssig zu verbindenden Pressringkörpers mit formmäßig angepasst Pressfläche an
15 eine formmäßig angepasste Gegenfläche zu pressen ist, wobei der Mittelteil des Verbundkörpers zumindest ein Stück weit freizulassen ist.
20

25 Die mit dieser Ausgestaltung der Maschine verbundenen Vorteile sind darin zu sehen, dass durch die besondere Ausgestaltung des rotationssymmetrischen Faserverbundkörpers zumindest im Bereich seiner stirnseitigen Seitenteile und wegen der entsprechenden Gestaltung der flanschartigen Befestigungsteile im Verbindungsbereich mit diesen Seitenteilen eine gute
30 form- und kraftschlüssige Verbindung zwischen dem schlechtwärmeleitenden Teil des Verbundkörpers und den Metallteilen des Wicklungsträgers erreicht wird. Dabei werden vorteilhaft im Verbindungsbereich zwischen Kunststoff und Metall, der ansonsten eine Schwachstelle der Drehmomentübertragung darstellt, Probleme einer Scherfestigkeit insbesondere bezüglich
35 Überlast und im Dauerbetrieb umgangen, indem das Moment nunmehr an den formschlüssig aneinanderliegenden Teilen mit an-

gepasster Wellung in erster Linie durch Druck bzw. Presskraft und weniger durch Scherung übertragen wird.

5 Gegebenenfalls kann noch zur Verbesserung der Kraftübertragung der Faserverbundkörper vor der Montage mit einem geeigneten Klebeharz, das gefüllt oder ungefüllt sein kann, insbesondere an den gewellten Flächen bestrichen werden, um bei der Verpressung keine Hohlräume entstehen zu lassen. Mit einer solchen Verpressung und der angepassten Wellung wird
10 nicht nur ein Verrutschen des Faserverbundkörpers bezüglich der Befestigungsteile verhindert; vielmehr wird dadurch auch im Verbindungsbereich „Metall-Kunststoff“ die Kraftübertragung mittels Druckkräften statt durch Scherkräfte verbessert.

15 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

So wird insbesondere eine über den Umfang gleichmäßig verteilte Wellenform der Seitenteile vorgesehen. Dabei kann vorzugsweise die Wellenform sinusartig oder kreisbogenartig
20 sein. Mit einer solchen Ausgestaltung der Seitenteile sowie der an ihnen formschlüssig anliegenden Flächen der Pressringkörper und der Befestigungselemente ist eine besonders gleichmäßige Kraftübertragung zwischen diesen Teilen zu gewährleisten. Die Wellung der Seitenteile braucht dabei jeweils nur in einem Teilabschnitt realisiert zu sein.

Als besonders vorteilhaft ist es anzusehen, wenn der Mittelteil des Faserverbundkörpers in seitlichen Übergangsbereichen
30 zu dem jeweiligen Seitenteil von dem jeweiligen Pressringkörper form- und kraftschlüssig gegen einen entsprechenden Teil der jeweiligen Gegenfläche zu pressen ist. Auf diese Weise ist eine besondere Belastung der Übergangsbereiche zwischen den gewellten Seitenteilen und dem ungewellten Mittelteil zu vermeiden. Die ungewellte Ausbildung des verbleibenden Mittelteils hilft dabei vorteilhaft die Gefahr einer Ausbeulung
35 dieses Teils zu vermindern.

Ferner ist es besonders günstig, wenn sich zumindest der größere Teil (d.h. mehr als die Hälfte) der Fasern des Fasermaterials ununterbrochen zumindest über den Übergangsbereich
5 zwischen dem Mittelteil des Verbundkörpers und dem jeweiligen Seitenteil erstreckt. Denn über diese Bereiche durchgehende Fasern tragen zu einer hohen kräftemäßigen Belastbarkeit dieser an sich kritischen Bereiche bei. Als Fasern kommen bekannte Fasermaterialien, insbesondere Glasfasern oder Kohlenstofffasern, in Frage.
10

Zur Verbesserung des Kraftschlusses und zu einer guten Drehmomentübertragung zwischen den flanschartigen Befestigungselementen und dem Wicklungsträger bzw. dem antriebsseitigen Gehäuse- oder Rotorwellenteil sind vorteilhaft die Befestigungselemente mit einer stirnseitigen Verzahnung versehen,
15 die in eine entsprechende Verzahnung des jeweiligen Gegenstücks eingreift. Die Verzahnung kann dabei in sich selbst sichernder Weise ausgebildet sein. Entsprechende Verzahnungen sind an sich bekannt.
20

Für die Leiter der zu kühlenden Wicklung kann entweder metallisches Niedrig- T_c -Supraleitermaterial oder insbesondere metalloxidisches Hoch- T_c -Supraleitermaterial in Frage kommen.
25 Durch die Verwendung des letztgenannten Materials wird die Kühltechnik vereinfacht.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Maschine sind Gegenstand der restlichen, vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüche.
30

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Maschine nach der Erfindung wird nachfolgend an Hand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch
35 deren Figur 1 eine mögliche Ausführungsform der Maschine in einem Längsschnitt,

deren Figur 2 eine erste spezielle Ausgestaltung einer Drehmoment übertragenden Verbindungseinrichtung dieser Maschine in einem Längsschnitt,

deren Figur 3 eine Aufsicht auf einen Querschnitt dieser Verbindungseinrichtung nach Figur 2,

deren Figur 4 den Faserverbundkörper dieser Verbindungseinrichtung in einem Längsschnitt,

deren Figur 5 einen Querschnitt dieses Faserverbundkörpers im Bereich eines Seitenteils,

deren Figuren 6 und 7 einen Längsschnitt bzw. einen Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform einer Drehmoment übertragenden Verbindungseinrichtung in den Figuren 2 und 3 entsprechender Darstellung

sowie

deren Figur 8 eine Frontansicht auf ein flanschartiges Befestigungselement der Verbindungseinrichtung nach Figur 2.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei der nachfolgend angedeuteten Ausführungsform der Maschine kann es sich insbesondere um einen Synchron-Motor oder einen Generator handeln. Selbstverständlich sind auch andere Anwendungs- bzw. Einsatzgebiete entsprechender Maschinen wie für hohe Drehzahlen, kompakte Antriebe z.B. von Schiffen oder für sogenannte Offshore-Einrichtungen wie z.B. Bohrplattformen möglich. Die erfindungsgemäße Maschine umfasst eine rotierende, normalleitende oder supraleitende Rotorwicklung, die prinzipiell eine Verwendung von metallischem Niedrig- T_c -Supraleitermaterial oder insbesondere oxidischem Hoch- T_c -Supraleitermaterial gestattet. Die Wicklung kann aus einer Spule oder einem System von Spulen in zwei-, vier- oder sonstigen mehrpoligen Anordnung bestehen. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Synchronmaschine geht aus Figur 1 hervor, wobei von bekannten Ausführungsformen solcher Maschinen ausgegangen wird (vgl. die genannten Veröffentlichungen).

Die allgemein mit 2 bezeichnete Maschine umfasst ein feststehendes, auf Raumtemperatur befindliches Maschinenaußengehäuse 3 mit einer Ständerwicklung 4 darin. Innerhalb dieses Außengehäuses und von der Ständerwicklung 4 umschlossen ist ein

5 Rotor 5 drehbar um eine Rotationsachse RA in Lagern 6a und 6b gehalten. Hierzu weist der Rotor ein als Vakuumgefäß gestaltetes Rotoraußengehäuse 7 auf, in dem ein Wicklungsträger 9 mit einer zu kühlenden, beispielsweise HTS-Wicklung 10 gehalten ist. Dieses Rotoraußengehäuse umfasst an seinen axial

10 gegenüberliegenden (Stirn-)Seiten jeweils einen scheiben- oder ringscheibenförmig gestalteten Gehäuseteil 7a bzw. 7b. Jeder dieser Gehäuseteile ist mit einem axialen Rotorwellenteil 5a bzw. 5b starr verbunden, wobei jedem Rotorwellenteil eines der Lager 6a bzw. 6b zugeordnet ist. Auf der sogenannten

15 Antriebsseite A des Rotoraußengehäuses 7 ist eine starre, rotationssymmetrische Einrichtung 8a zwischen dem Wicklungsträger und dem scheibenförmigen, mit dem Rotorwellenteil 5a fest verbundenen Gehäuseteil 7a vorgesehen. Über diese erfindungsgemäß gestaltete, nachfolgend als Verbindungseinrichtung

20 8a bezeichnete Einrichtung mit stirnseitigen flanschartigen Befestigungsteilen 12a und 12b sowie einem dazwischen verlaufenden Faserverbundkörper 13 (vgl. insbesondere die Figuren 2 und 3) erfolgt insbesondere auch die Drehmomentübertragung. Vorteilhaft besteht dieser Verbundkörper im Wesentlichen aus

25 einem schlecht-wärmeleitenden Hohlzylinder, der aus einem mit Fasern wie beispielsweise Glasfasern verstärkten Kunststoffmaterial (sogenanntes „GFK“-Material) besteht. Dabei sind in an sich bekannter Weise die Fasern in das für sie als Matrix dienende, unter Festigkeit Gesichtspunkten ausgewählte Kunststoffmaterial vorzugsweise über die gesamte axiale Ausdehnung

30 gelegt. Die Fasern verlaufen dabei im Kunststoffmaterial vorteilhaft schräg bezüglich der Rotationsachse RA, also nicht parallel oder senkrecht dazu. Gegebenenfalls können sie sich auch in verschiedenen Lagen befinden, wobei ihre Winkel bezüglich der Achse auch unterschiedlich sein können. Das so

35 gebildete Verbundmaterial gewährleistet dann eine für die Drehmomentübertragung hinreichend große mechanische Steifig-

keit und einem großen Schubmodul (G-Modul) bei gleichzeitig geringer Wärmeleitfähigkeit. Weitere Einzelheiten der Drehmoment übertragenden Verbindungseinrichtung sind insbesondere in den Figuren 2 bis 5 dargestellt.

5

Wie ferner aus Figur 1 hervorgeht, ist auf der der Antriebsseite A gegenüberliegenden, nachfolgend mit B bezeichneten Nicht-Antriebsseite eine weitere Verbindungseinrichtung 8b zwischen dem Wicklungsträger 9 und dem seitlichen, scheibenförmigen Gehäuseteil 7b des Rotoraußengehäuses 7 angeordnet. Auf dieser Seite B erfolgt über den hohlzylindrisch ausgeführten Wellenteil 5b unter anderem eine Kühlmittelzufuhr zur Kühlung der insbesondere supraleitenden Wicklung 10 von außerhalb der Maschine. Einzelheiten der Kühlmittelzufuhr und der Abdichtung sind bekannt. Auf eine detaillierte Darstellung dieser Teile wurde deshalb in der Figur verzichtet. Ein den Wicklungsträger 9 mit der zu kühlenden Wicklung 10 umschließendes Vakuum ist mit V bezeichnet. Das Vakuum ist insbesondere zwischen dem warmen Rotoraußengehäuse 7 und dem kalten Wicklungsträger 9 vorhanden. Auf die Darstellung weiterer, bekannter Maßnahmen zu einer thermischen Isolation wie z.B. einer Superisolation wurde verzichtet.

25

Zur Verminderung einer Wärmeeinleitung von den auf Raumtemperatur befindlichen, somit wärmeren seitlichen Gehäuseteilen 7a und 7b des Rotoraußengehäuses in den auf Tieftemperatur befindlichen kalten Teil des Wicklungsträgers 9 und damit in die kalte Wicklung 10 kommen vorteilhaft Teile aus GFK in Frage. Eine spezielle Ausführungsform erfindungsgemäß gestalteten Verbindungseinrichtung 8a auf der Antriebsseite A geht aus dem Längsschnitt der Figur 2 hervor. Die Verbindungseinrichtung 8b auf der Nicht-Antriebsseite B kann entsprechende Merkmale aufweisen. Letztere Einrichtung sollte darüber hinaus so gestaltet sein, dass ein axialer Dehnungsausgleich auf Grund von Schrumpfungen der abgekühlten Rotorteile ermöglicht wird.

35

Neben der Forderung nach Minimierung der Wärmeübertragung müssen zwischen dem Faserverbundkörper 13 aus GFK und den flanschartigen Befestigungsteilen 12a und 12b aus Metall insbesondere auch hohe Drehmomente der Maschine übertragen werden können. Hierzu setzt sich der rotationssymmetrisch gestaltete, die Achse RA umschließende Faserverbundkörper 13 aus zumindest aus drei Teilen zusammen, nämlich einem hohlzylinderförmigen Mittelteil 13c sowie zwei sich axial nach außen hin trichterförmig von Radius des Mittelteils auf größere Radien erweiternden Seitenteilen 13a und 13b (vgl. hierzu auch Figur 4). Dabei sollen diese Seitenteile in ihrem einzigen Teilabschnitt abweichend von einer glatten, ungewellten Trichterform jeweils so strukturiert sein, dass in Umfangsrichtung gesehen eine regelmäßige Wellung mit Erhebungen 17j und Vertiefungen 18j erhalten wird. Die Wellenform ist in der seitlichen Aufsicht auf den Querschnitt der Figur 3 und insbesondere aus dem Querschnitt der Figur 5 näher ersichtlich. Eine solche Wellung kann vorzugsweise bei der Herstellung des Faserverbundkörpers mittels entsprechender Formgebungswerkzeuge im noch verformbaren Zustand eingeprägt werden, wobei vorteilhaft die Faserverstärkung nicht beschädigt wird und so die mechanische Stabilität des Verbundwerkstoffes erhalten bleibt. Der Faserverbundkörper 13 mit seinem Mittelteil 13c und seinen stirnseitigen Seitenteilen 13a und 13b ist somit einstückig ausgebildet. Die für die Figuren zugrunde gelegte Wellung der Seitenteile ist aus Gründen einer guten Drehmomentübertragung vorzugsweise sinusförmig und insbesondere über den gesamten Umfang gleichmäßig verteilt. Gegebenenfalls können jedoch auch andere Wellenformen wie z.B. Kreisbogenformen vorgesehen werden, und auch der Umfang braucht nur in einzelnen Bereichen mit einer solchen Wellung versehen zu werden. Demgegenüber soll der Mittelteil 13c zumindest weitgehend ungewellt sein.

Um einen Formschluss zwischen den so gewellten Seitenteilen 13a und 13b mit dem jeweiligen Befestigungsteil 12a bzw. 12b zu gewährleisten, sollen die Gegenflächen 14a und 14b des je-

weiligen Befestigungsteils eine an die Wellung des zugehörenden Seitenteils angepasste Wellung besitzen. Um einen festen Sitz der Seitenteile 13a und 13b auf diesen Gegenflächen 14a und 14b zu gewährleisten, ist, wie ferner aus Figur 2 ersichtlich ist, jeweils ein Pressringkörper 15a bzw. 15b vorgesehen. Diese Pressringkörper haben an ihren an dem jeweiligen Seitenteil anliegenden Pressflächen 19a bzw. 19b ebenfalls eine Wellung, die an die Wellung des jeweiligen Seitenteils auf dessen der Gegenfläche abgewandter Seite angepasst ist. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 2 können die Presskörper 15a und 15b mittels Verschraubungen 20a und 20b so an den Befestigungsteilen 12a bzw. 12b angeschraubt werden, dass die Seitenteile unverrückbar auf die zugehörigen Gegenflächen kraftschlüssig gepresst werden. Zu einer besseren Kraftübertragung kann gegebenenfalls der Faserverbundkörper 13 vor der Montage noch mit einem geeigneten, gefüllten oder ungefüllten Kleberharz an den Seitenteilen bestrichen werden, um so bei der Verpressung keine Hohlräume entstehen zu lassen. Wenn die Metalloberflächen der Befestigungsteile mit Trennmittel behandelt werden, kann vorteilhaft der Aufbau in einem Störfall des Faserverbundkörpers auch demontiert werden. Bei der erfindungsgemäßen Maschine wird also statt einer bisher üblichen, rein klassischen Verklebungstechnik bei der Metall-Faserverbundwerkstoff-Verbindung nunmehr eine form- und kraftschlüssige Verpressung vorgesehen.

Wie außerdem aus Figur 2 hervorgeht, umfassen die Befestigungselemente 12a und 12b und die Pressringkörper 15a und 15b nicht nur die Seitenteile 13a und 13b des Faserverbundkörpers 13, sondern ein Stück weit auch den Mittelteil 13c. Der freizuhaltende Abstand a insbesondere zwischen den Ringpresskörpern 15a und 15b, d.h. ohne anliegende metallische Teile, ist dabei einerseits von Festigkeitsschwerpunkten und andererseits unter dem Gesichtspunkt einer möglichst geringen Wärmeübertragung festgelegt. Auf diese Weise sind besondere kräftemäßige Belastungen des Übergangsbereichs von den gewellten Seitenteilen auf den ungewellten Mittelteil zu verhindern.

Eine effektive Drehmomentübertragung zwischen den metallischen Befestigungsteilen 12a und 12b und dem nicht-metallischen Faserverbundkörper 13 ist so zu gewährleisten, ohne dass eine Gefahr von Beschädigungen der Verbindungsbereiche zwischen diesen Teilen bei auftretenden hohen Torsionskräften besteht. Außerdem wird zugleich einer eventuellen Rissbildung an Kanten vorgebeugt.

Selbstverständlich sind auch andere Ausgestaltungen der Seitenteile 13a und 13b des Faserverbundkörpers 13 und damit der zugeordneten Gegenflächen des jeweiligen Befestigungselementes 12a, 12b und der Pressringkörper 15a, 15b möglich, soweit in Umfangsrichtung gesehen und in dieser Richtung regelmäßig verteilt ineinander greifende Erhebungen und Vertiefungen der zu verbindenden Teile ein gegenseitiges Verdrehen in Umfangsrichtung ausschließen und die geforderte Drehmomentübertragung gewährleisten. Insbesondere mit der an Hand der Figuren 2 und 3 gezeigten Wellung sind diese Forderungen zu erfüllen. Aber auch andere ineinander greifende Strukturen wie z.B.

Verzahnungen sind denkbar. Solche andere Strukturen sollen von der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Faserverbundkörpers und der der zugeordneten Teile unter dem Begriff „Wellung“ (bzw. „gewellt“) mit umfasst sein.

Die Figuren 6 und 7 zeigen im Längs- bzw. Querschnitt in den Figuren 2 und 3 entsprechender Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines solchen Faserverbundkörpers 23 in einer Verbindungseinrichtung 21a. In Abweichung von der Verbindungseinrichtung 8a nach Figur 2 unterscheidet sich die Einrichtung 21a im Wesentlichen durch eine besondere Gestalt ihres Faserverbundkörpers 23 zwischen Befestigungsteilen 22a und 22b aus Metall. Wie der Faserverbundkörper 13 weist der Faserverbundkörper 23 einen rohrförmigen, ungewellten Mittelteil 23c auf. Jedoch sind seine Seitenteile 23a und 23b besonders gestaltet. Diese setzen sich nämlich jeweils aus zwei Teilabschnitten 23a₁, 23a₂ bzw. 23b₁, 23b₂ zusammen, wobei die an den Mittelteil 23c angrenzenden Teilabschnitte 23a₁ und

23b₁ jeweils sich trichterförmig nach außen hin erweiternd ausgebildet sind und die Teilabschnitte 23a₂ und 23b₂ hohlzylinderförmige, sich achsenparallel nach außen erstreckende Endteile bilden. Zumindest einer der beiden Teilabschnitte jedes Seitenteils weist wiederum eine Wellung auf. So kann, wie für das Ausführungsbeispiel angenommen, z.B. nur für die Endteile 23a₂ und 23b₂ eine Wellenform vorgesehen werden. Es ist jedoch auch möglich, zusätzlich oder stattdessen eine Wellenform für die trichterförmigen Teilabschnitte 23a₁ und 23b₁ gemäß Figur 2 einzuplanen. Zur Montage der Verbindungseinrichtung 21a werden die gewellten Endteile 23a₂ und 23b₂ in entsprechend gefräste Nuten des jeweiligen flanschartigen Befestigungsteils 22a bzw. 22b eingefügt und liegen mit ihren trichterförmigen Teilabschnitten 23a₁ und 23b₁ jeweils an einer formmäßig angepassten Gegenfläche 26a bzw. 26b des zugehörenden Befestigungsteils an. Der Kraftschluss zwischen diesen Teilen wird wiederum mittels Pressringkörpern 15a und 15b bewirkt, die über ihre Pressflächen 19a und 19b den Faserverbundkörper 23 an die Gegenflächen 26a und 26b des jeweiligen Befestigungsteils 22a bzw. 22b pressen. Selbstverständlich können auch bei dieser Ausführungsform jeder Pressringkörper und die zugeordneten Gegenflächen ein Stück weit den rohrförmigen Mittelteil (ohne Wellung) mit erfassen.

Zur Übertragung der hohen Drehmomente zwischen den flanschartigen Befestigungsteilen 12a und 12b oder 22a und 22b einerseits und dem Wicklungsträger 9 bzw. dem antriebsseitigen Gehäuseteil 7a andererseits wird vorteilhaft der jeweilige flanschartige Befestigungsteil an dem Wicklungsträger 9 bzw. dem Gehäuseteil 7a nicht nur angeschraubt. Vielmehr kann, wie mit der Darstellung des für die Figur 8 ausgewählten Befestigungsteils 12a angedeutet ist, jeder Befestigungsteil vorteilhaft eine stirnseitige, aus der Seitenansicht der Figur für ersichtliche Verzahnung 29 mit hervorstehenden Zähnen 29a und dazwischenliegenden, nutenartigen Zwischenräumen bzw. Vertiefungen 29b aufweisen. Die Verzahnung lässt sich dabei in an sich bekannter Weise so ausbilden, dass eine kraft-

schlüssige, sich selbst zentrierende Verbindung erreicht wird, wobei das Moment auf einem relativ großen Radius weitergegeben werden kann. Die Gegenfläche des Wicklungsträgers 9 bzw. des Gehäuseteils 7a weist eine entsprechende Verzahnung auf, wobei die Zähne 29a der Verzahnung 29 des flanschartigen Befestigungsteils 12a in entsprechende Nuten in der Gegenfläche des Wicklungsträgers bzw. des Gehäuseteils eingreifen. In der Figur sind außerdem noch Bohrungen 30i für eine Verschraubung des Befestigungsteils 12a an dem Wicklungsträger 9 angedeutet.

Bei den vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen wurde davon ausgegangen, dass für die Faserverbundkörper 13 und 23 ein glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) verwendet wird. Selbstverständlich sind auch mit anderen Fasern wie z.B. mit Kohlenstofffasern verstärkte Kunststoffe einsetzbar, sofern mit diesen Materialien die Drehmomentübertragung bei gleichzeitig geringer Wärmeübertragung zu gewährleisten ist.

Darüber hinaus kann eine erfindungsgemäß ausgebildete Verbindungseinrichtung auch statt eines einzigen hohlzylindrischen Faserverbundkörpers mehrere, sich konzentrisch umschließende Verbundkörper aufweisen, denen gegebenenfalls auch eigene flanschartige, sich konzentrisch umschließende Befestigungsteile zugeordnet sind.

Ferner wurde bei den in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen davon ausgegangen, dass die Gegenflächen, an die der jeweilige Verbundkörper mittels mehrerer, gegebenenfalls auch nur durch ein einziges Bauteil gebildeten Pressringkörpern gepresst wird, an dem jeweiligen Befestigungsteil ausgebildet sind. Selbstverständlich kann hierzu der jeweilige Befestigungsteil auch aus mehreren Körpern zusammengesetzt sein.

Patentansprüche

1. Maschine mit einem um eine Rotationsachse drehbar gelagerten Rotor, der

- 5 - ein Rotoraußengehäuse hat, das an Rotorwellenteilen befestigt ist und einen Wicklungsträger mit einer zu kühlenden Wicklung umschließt,

und

- 10 - Mittel zur Halterung des Wicklungsträgers innerhalb des Rotoraußengehäuses aufweist, die zumindest an einer Stirnseite des Wicklungsträgers eine Drehmoment übertragende Einrichtung zwischen dem Wicklungsträger und dem zugeordneten Rotorwellenteil mit mindestens einem rotationssymmetrischen Verbundkörper aus einem mit Fasermaterial verstärkten Kunststoff umfassen,
- 15

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Verbundkörper (13, 23)

- einstückig Seitenteile (13a, 13b; 23a, 23b) und einen dazwischen liegenden Mittelteil (13c, 23c) enthält, wobei
- 20 die Seitenteile zumindest in einem Teilabschnitt (13a, 13b; 23a₁, 23b₁) sich trichterförmig nach außen hin erweitern und der Mittelteil hohlzylinderförmig ausgebildet sind und wobei die Seitenteile zumindest in einem Teilabschnitt (13a, 13b; 23a₂, 23b₂) in Umfangsrichtung gesehen
- 25 eine Wellenform aufweisen, während der Mittelteil (13c, 23c) zumindest weitgehend ungewellt ist,

und

- an seinen Seitenteilen (13a, 13b) mit flanschartigen Befestigungsteilen (12a, 12b) aus Metall form- und kraftschlüssig verbunden ist, indem wenigstens jeder Seitenteil
- 30 (13a, 13b; 23a, 23b) des Verbundkörpers (13, 23) mittels eines mit dem jeweiligen Befestigungsteil (12a, 12b; 22a, 22b) kraftschlüssig zu verbindenden Pressringkörpers (15a, 15b) mit formmäßig angepasster Pressfläche (19a, 19b) an
- 35 eine formmäßig angepasste Gegenfläche (14a, 14b; 26a, 26b) zu pressen ist, wobei der Mittelteil (13c, 23c) des Ver-

bundkörpers (13, 23) zumindest ein Stück weit (a) freizulassen ist.

2. Maschine nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine in Umfangsrichtung gesehen gleichmäßige Wellenform der Seitenteile (13a, 13b; 23a, 23b).

3. Maschine nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine in Umfangsrichtung gesehen sinusartige oder kreisbogenartige Wellenform der Seitenteile (13a, 13b; 23a, 23b).

4. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegenflächen (14a, 14b; 26a, 26b) an dem jeweiligen Befestigungsteil (12a, 12b bzw. 22a, 22b) ausgebildet sind.

5. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest der trichterförmige Teilabschnitt jedes Seitenteils (13a, 13b; 23a, 23b) die Wellenform aufweist.

6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Seitenteile (23a, 23b) des Verbundkörpers (23) jeweils einen trichterförmigen Teilabschnitt (23a₁, 23b₁) und einen hohlzylinderförmigen Endabschnitt (23a₂, 23b₂) aufweisen, wobei die Endabschnitte und/oder die trichterförmigen Teilabschnitte die Wellenform aufweisen/aufweist.

30

7. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Mittelteil (13c, 23c) des Faserverbundkörpers (13, 23) in seitlichen Übergangsbereichen zu dem jeweiligen Seitenteil (12a, 12b; 22a, 22b) von dem jeweiligen Pressringkörper (15a bzw. 15b) form- und kraftschlüssig gegen einen entsprechenden Teil

35

der jeweiligen Gegenfläche (14a, 14b; 26a, 26b) zu pressen ist.

8. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
5 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass sich zumin-
dest der größere Teil der Fasern des Fasermaterials ununter-
brochen zumindest über jeden Übergangsbereich zwischen dem
jeweiligen Seitenteil (13a, 13b; 23a, 23b) und dem Mittelteil
(13c, 23c) des Faserverbundkörpers (13, 23) erstreckt.

10

9. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Faserma-
terial des Faserverbundkörpers (13, 23) in Form von Glasfa-
sern oder Kohlenstofffasern vorliegt.

15

10. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die flansch-
artigen Befestigungsteile (12a, 12b; 22a, 22b) jeweils mit
einer stirnseitigen Verzahnung (29) versehen sind, die in ei-
20 n e entsprechende Verzahnung des zugehörigen Teils des Wick-
lungsträgers (9) bzw. des mit dem Rotorwellenteil (5a) ver-
bundenen seitlichen Gehäuseteils (7a) des Rotoraußengehäuses
(7) eingreifen kann.

25 11. Maschine nach Anspruch 10, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , dass die Verzahnung sich selbst
zentrierend ausgebildet ist.

12. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
30 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die flansch-
artigen Befestigungsteile (12a, 12b; 22a, 22b) aus einem
Stahl bestehen.

13. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, g e -
35 k e n n z e i c h n e t durch eine Verschraubung (20a, 20b)
der Pressringkörper (15a, 15b) mit dem jeweiligen Befesti-
gungsteil (12a, 12b; 22a, 22b).

14. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Leiter
der Wicklung (10) metallisches Niedrig- T_c -Supraleitermaterial
oder metalloxidisches Hoch- T_c -Supraleitermaterial enthalten.

5

15. Maschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Wick-
lungsträger (9) von einem Vakuum (V) umgeben ist.

Zusammenfassung

Maschine mit einer in einem Wicklungsträger angeordneten
kühlbaren Wicklung sowie mit einer Drehmoment übertragenden

5 Einrichtung

Die Maschine (2) weist einen Rotor (5) mit einer zu kühlen-
den, insbesondere supraleitenden Wicklung (10) in einem Wick-
lungsträger (9) auf. Zur Halterung des Wicklungsträgers in-
10 nerhalb eines Rotoraußengehäuses (7) ist auf einer Drehmoment
übertragenden Seite (A) eine Einrichtung (8a) mit einem Ver-
bundkörper (13) aus faserverstärktem Kunststoff vorgesehen.
Der Verbundkörper (13) soll einstückig aus Seitenteilen und
15 einem Mittelteil bestehen, wobei sich die Seitenteile trich-
terförmig nach außen hin erweitern und der Mittelteil hohlzy-
linderförmig ist. Die Seitenteile sollen zumindest teilweise
in Umfangsrichtung gesehen eine Wellenform aufweisen und mit
flanschartigen Befestigungsteilen (12a, 12b) aus Metall form-
und kraftschlüssig mittels Pressringkörpern verbunden sein.

20

FIG 1

1/4

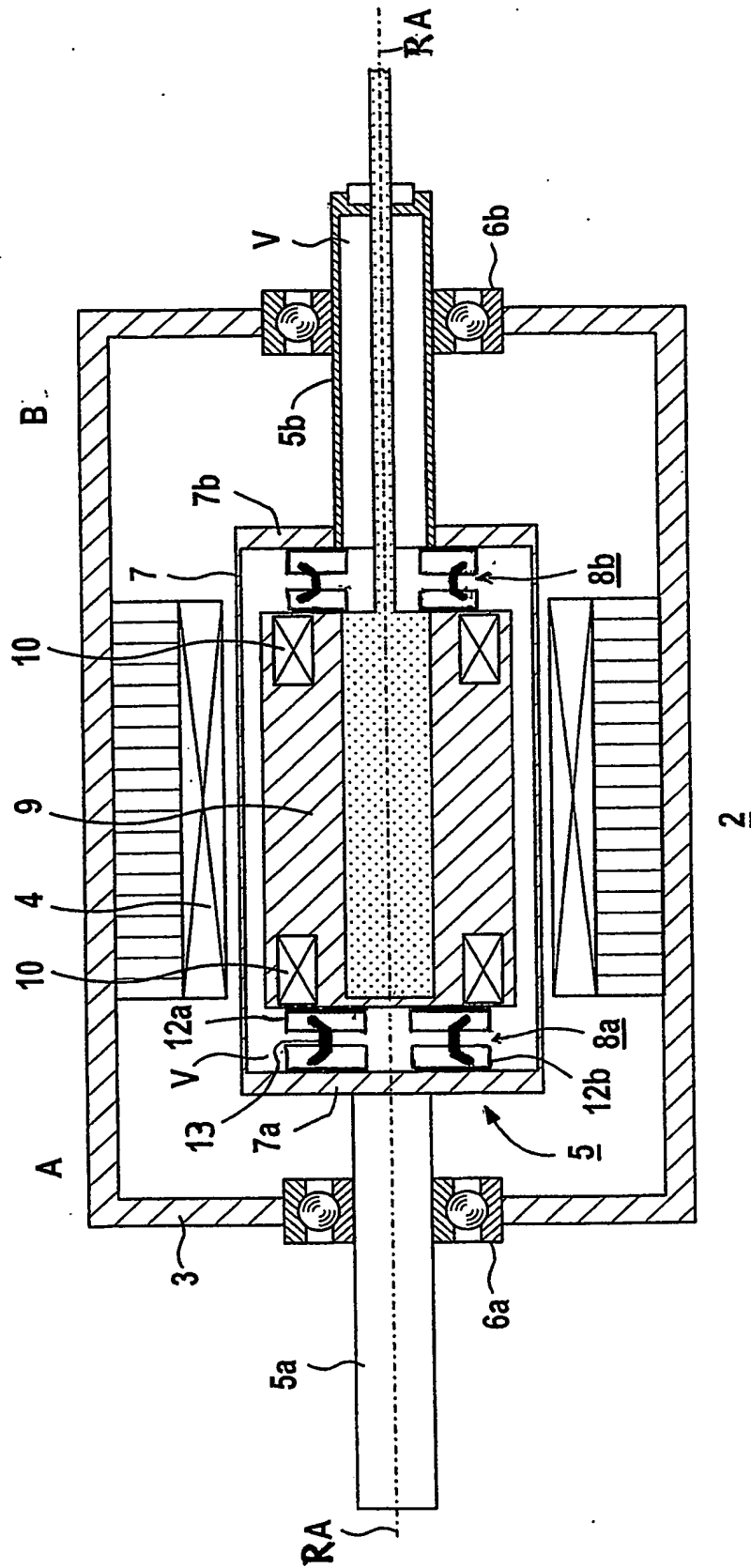


FIG 1

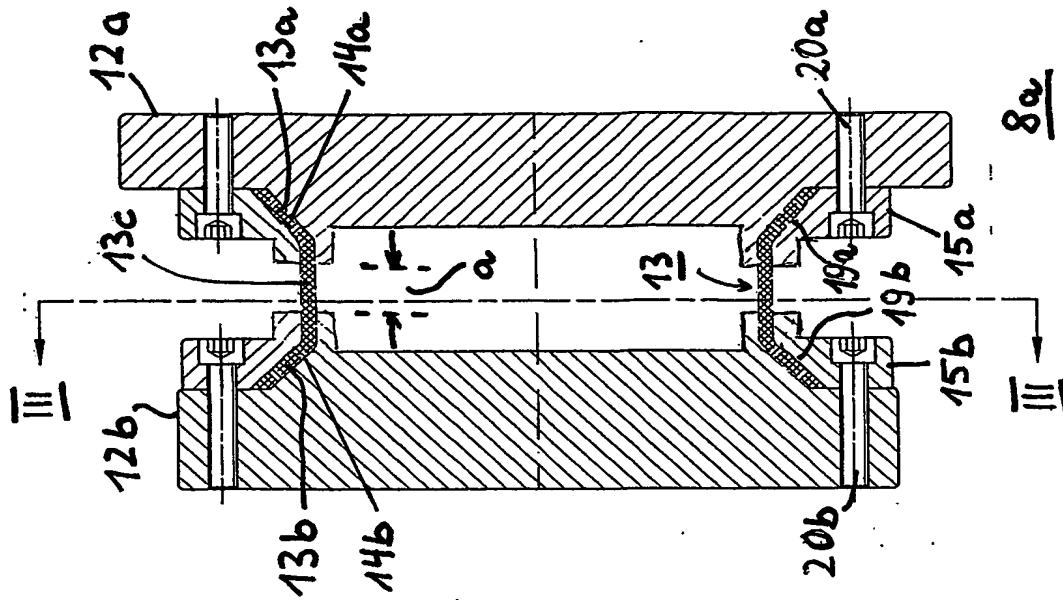


FIG. 2

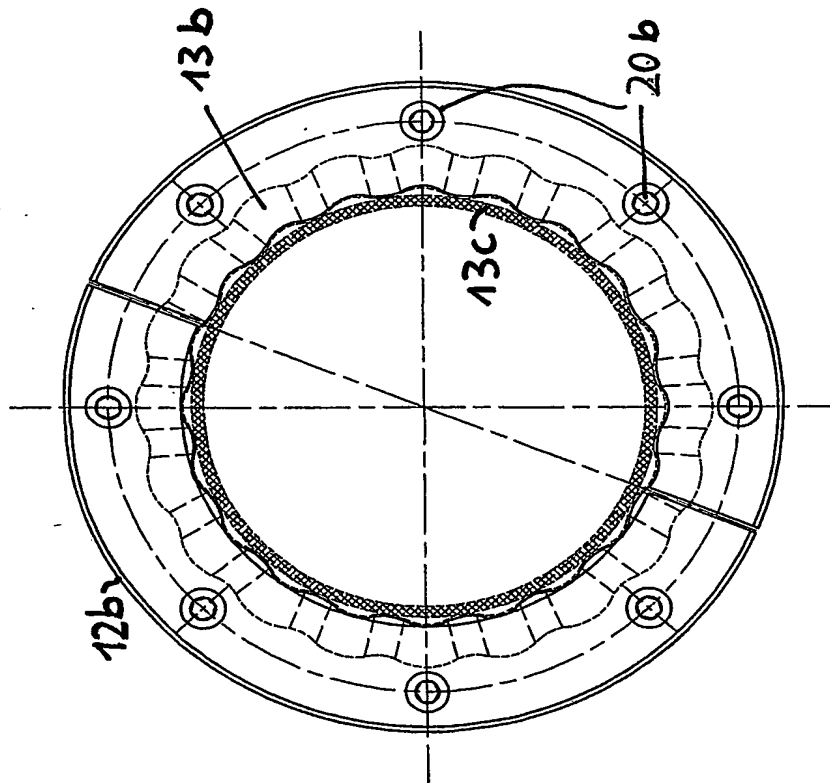


FIG. 3

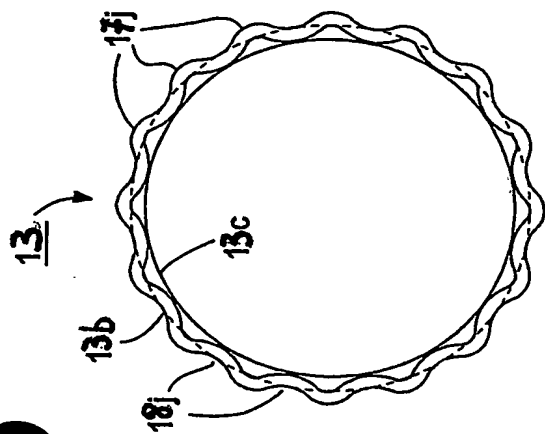


FIG 5

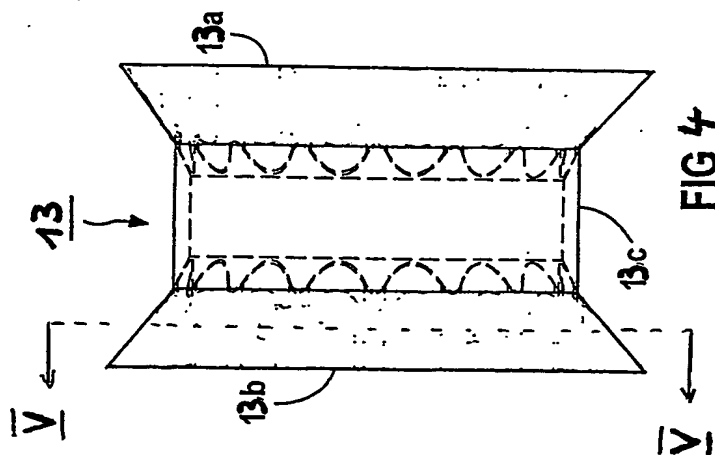


FIG 4

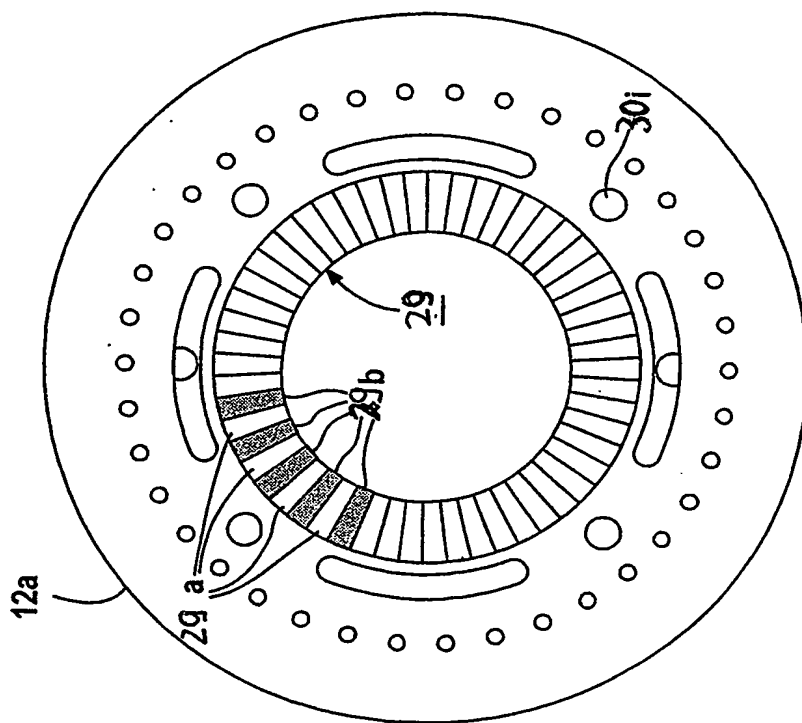


FIG 8

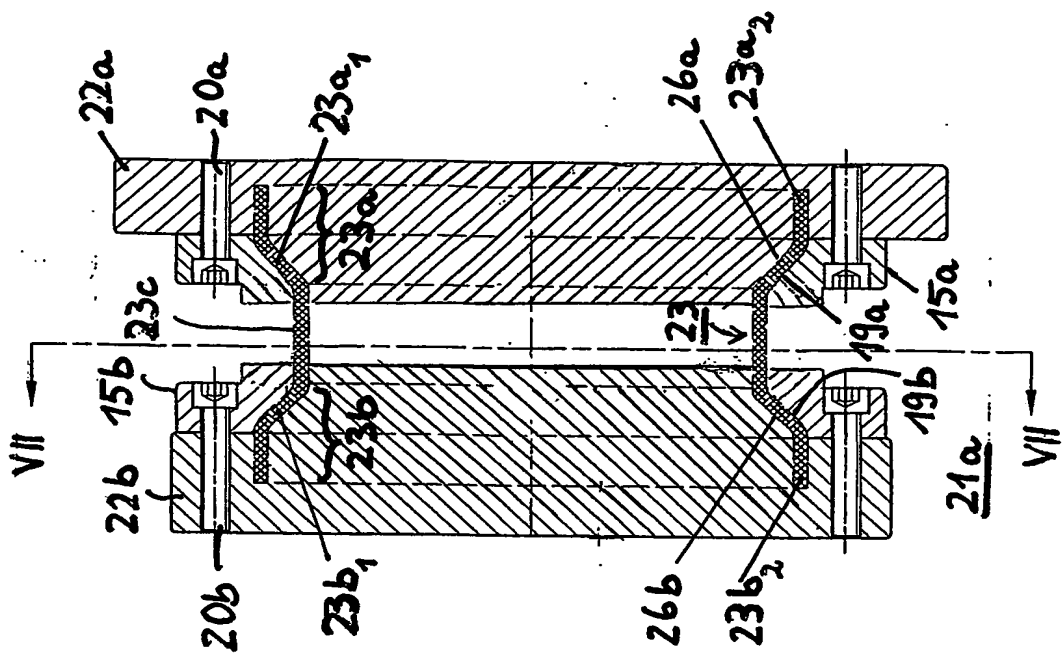


FIG 6

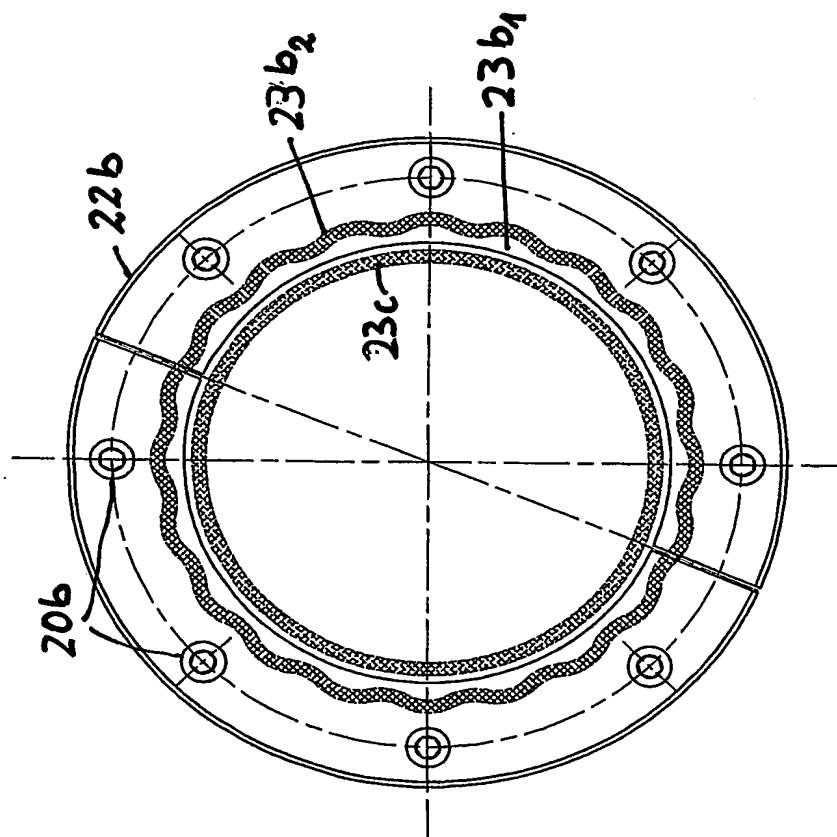


FIG 7